

# ANALISA EFEKTIVITAS MODEL GR4J GUNA PENGALIH RAGAMAN HUJAN MENJADI DEBIT (Studi Kasus: DAS Siak Hulu)

Ega Riana Tovani<sup>1)</sup>, Manyuk Fauzi<sup>2)</sup>, Imam Suprayogi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, <sup>2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293

E-mail: Ega.tovani@gmail.com

## ABSTRACT

*On this study to review the rainfall-runoff modeling of GR4J (Genie Rural a 4 parametres Journalier) on Watershed (DAS) Siak hulu. In this study using two methods: by modeling GR4J and length of the data elaboration method for calibration and verification. This GR4J models using input data including daily data of rainfall at the Petapahan baru station and daily data of evapotranspiration potential is the result of a program CropWat within input data is climatological data at Pasar Kampar stations, modeling results is tested using daily data of discharge observations on the Pantai Cermin station. This modeling to optimize four free parameters such as Maximum Capacity Production Store(X1), Coefficient Changes in Ground water(X2), Maximum Capacity Routing Store(X3), and Peak Time Ordinate unit hydrograph (X4). In the second method, performed of calibration in certainly year and verification in thereafter. As a determinant of the model's success is use dequation NashSutcliffe Coefficient ( $R^2$ ) and the correlation coefficient tmethod(R) to calculate the deviation occurs.*

**Keywords:** GR4J, Calibration, verification.

## PENDAHULUAN

Air merupakan komponen penting dari siklus kehidupan. Dewasa ini, masalah lingkungan sering terjadi apalagi masalah sumber daya air. Permasalahan sumber daya air masih bertumpu ketersediaan. Distribusi ketersediaan air sepanjang waktu sangat dipengaruhi oleh distribusi hujan sepanjang tahun. Ketersediaan air dapat dideteksi dengan persamaan matematika dalam bentuk model seperti model hujan aliran (*rainfall-runoff*).

Model-model yang muncul saat ini kebanyakan adalah hasil pengembangan dari model terdahulu melalui proses yang panjang dan mengalami banyak

penyempurnaan. Pemodelan GR4J (*Genie Rural a 4 parametres Journalier*) ini merupakan pengembangan dari model sebelumnya yaitu GR3J (*Genie Rural a 3 parametres Journalier*). GR3J dan GR4J adalah pemodelan *rainfall-runoff* diukur berdasarkan parameter-parameter bebas yang diperoleh dari data curah hujan harian yang pertama kali dikenalkan oleh Edijatno dan Mitchel (1989) kemudian disempurnakan oleh Nascimento (1995) dan Edijatno (1999). Kedua model ini menyederhanakan konsep-konsep sebelumnya, debit yang masuk ke *reservoir* diharapkan dapat mewakili

karakteristik DAS. Kesederhanaan program yang hanya terfokus pada keempat parameter menjadikan program ini sangat cocok untuk aplikasi permasalahan yang bersifat operasional.

Pemodelan hujan-debit (rainfall-runoff modelling) memiliki sejarah yang panjang dan merupakan usaha pertama dari ahli hidrologi untuk meramalkan aliran (flows) yang diharapkan terjadi dari suatu kejadian hujan. Thomas James Mulvaney (1822-1892) [lihat Beven (2001)], ahli hidrologi dari Irlandia, pertama kali mempublikasikan model hujan-debit pada tahun 1851.

Telah banyak dilakukan pengembangan-pengembangan pengalih ragaman hujan menjadi debit, seperti yang telah dilakukan oleh ahli hidrologi terdahulu, rainfall-runoff yang sudah dikembangkan diantaranya: Tank model (Sugawara, 1995), IHACRES (Ye, 1997), HBV (Lindstrom, 1997), SMAR (Tan dan O'Connor, 1996), TOPMODEL (Beven, 1986), Xinanjiang (Jayawardena dan Zhou, 2000) dan lain-lain.

Pemodelan Génie Rural menggunakan prinsip model tangki (tank model). Dasar pemikiran model tangki adalah meniru (simulate) sistem daerah aliran sungai dengan menggantinya oleh sejumlah tampungan yang digambarkan sebagai sederet tangki. Model tangki dikembangkan oleh Sugawara (1977).

Model hidrologi yang dikembangkan oleh Perrin et al. (2003) yang berbasis pada empat parameter rainfall-runoff adalah model Génie Rural a 4 parametres Journalier (GR4J). Model Génie Rural diawali dari konsep model hujan-debit Génie Rural à 2 Parametres, GR2V1 hingga GR2V6 (Edijatno, 1989). Génie Rural à 2

Parametres berkembang menjadi GR3J. GR4J merupakan versi modifikasi terbaru. Secara berurutan yang bekerja pada model ini dimulai oleh Edijatno & Michel (1989), Nascimento (1995) dan Edijatno et. al. (1999) dan Perrin (2000).

Model GR4J (Génie Rural a 4 parametres Journalier) diukur berdasarkan 4 parameter bebas yang diperoleh dari data curah hujan harian. Model GR4J dikembangkan dari model sebelumnya yaitu GR3J (Génie Rural a 3 parametres Journalier) yang dikembangkan dari metode aslinya yang ditemukan oleh Edijatno dan Michel (1989) kemudian disempurnakan oleh Nascimento (1995) dan Edijatno (1999). Model GR4J mengoptimasi empat parameter bebas yaitu:

- X1 :Kapasitas maksimum dari production store (mm)
- X2 :Koefisien perubahan groundwater (mm)
- X3 :Kapasitas maksimum routing store (mm)
- X4 :Waktu saat debit puncak unit hidrograf UH1 (hari)

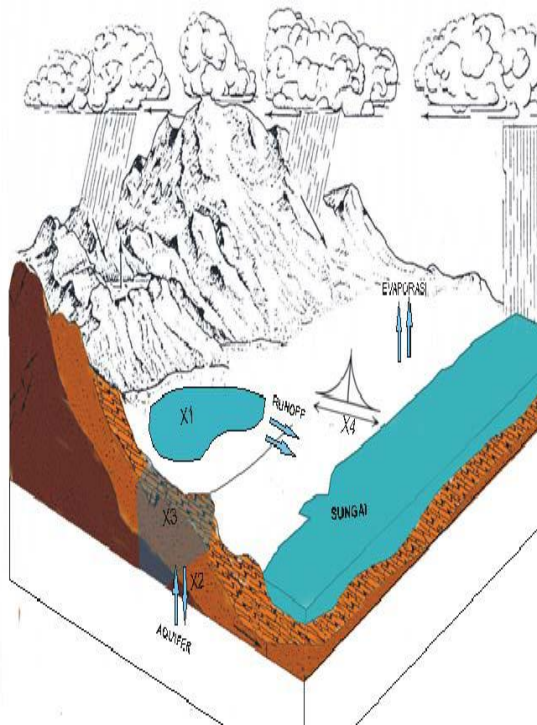
*Production Store (X1)* adalah tampungan dipermukaan tanah yang bisa menampung air dari hujan yang terjadi. Tampungan ini mengalami proses evapotranspirasi dan perkolasi. Besarnya tampungan ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah yang ada pada suatu DAS, semakin kecil porositas tanah maka semakin besar *production store* yang ada.

KoefisienPerubahan *Groundwater* (X2) adalah fungsi dari perubahan air tanah yang mempengaruhi besarnya *routing store*. Ketika memiliki nilai negatif maka air masuk ke *aquifer* dalam dan ketika memiliki nilai positif maka air dari *aquifer* keluar dan masuk ke tampungan (*routing storage*).

*Routing storage* ( $X_3$ ) adalah kapasitas air yang bias ditampung dalam pori-pori tanah. Besarnya nilai *routing store* ini tergantung dari jenis dan kelembaban tanah.

*Time Peak* ( $X_4$ ) adalah waktu saat puncak ordinat unit hidrograf banjir yang dihasilkan pada pemodelan *GR4J*. Ordinat unit hidrograf ini dihasilkan dari *runoff* yang terjadi, dimana 90% aliran merupakan aliran lambat yang masuk ke dalam tanah dan 10% aliran merupakan aliran cepat yang mengalir di permukaan tanah. Berikut adalah gambaran fisik dari pemodelan *GR4J* dari mulai proses turunnya hujan sampai dengan debit yang terkumpul di sungai.

Seperti terlihat pada Gambar 2.4 seluruh perhitungan kuantitas air diekspresikan dalam satuan mm dengan cara membagi volume air dengan luas catchment area.



Gambar 1 Gambaran fisik model *rainfall-runoff* *GR4J*.

Adapun langkah perhitungan pemodelan *GR4J* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Input* data curah hujan harian ( $P$ ) dan evapotranspirasi potensial ( $E$ ). Kemudian definisikan  $P$  menjadi *Net rainfall*  $P_n$  dan  $E$  menjadi *Net evapotranspirasi*  $E_n$ .

2. Memperoleh nilai  $P_n$  dan  $E_n$ .

Jika  $P \geq E$  maka

$$P_n = P - E \text{ dan } E_n = 0 \quad (1)$$

Jika  $P \leq E$  maka

$$E_n = E - P \text{ dan } P_n = 0 \quad (2)$$

3. mencari nilai  $P_s$  dari  $P_n$  yaitu nilai  $P_n$  yang mengisi *production store*, dirumuskan sebagai berikut:

$$P_s = \frac{X_1 \left(1 - \left(\frac{S}{X_1}\right)^2\right) \tanh\left(\frac{P_n}{X_1}\right)}{1 + \frac{S}{X_1} \tanh\left(\frac{P_n}{X_1}\right)} \quad (3)$$

Kasus lain jika  $P < E$  maka  $E_s$  dirumuskan sebagai berikut:

$$E_s = \frac{S \left(2 - \frac{S}{X_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{X_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{X_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{X_1}\right)} \quad (4)$$

4.  $E_n$  mengurangi jumlah *production store*, Dalam pemodelan ini *production store*  $S$  tidak pernah melebihi  $X_1$ . sehingga *production store* dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S - E_s + P_s \quad (5)$$

5. Di dalam *production store*, perkolasi dirumuskan sebagai berikut:

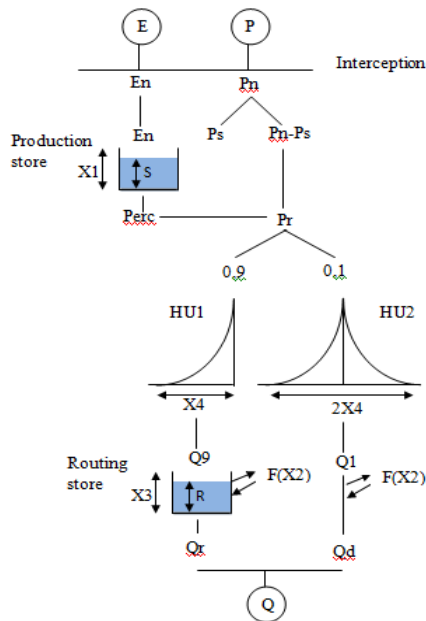
$$Perc = S \left\{ 1 - \left[ 1 + \left( \frac{4}{9} \frac{S}{X_1} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\} \quad (6)$$

6.  $Perc$  dianggap selalu lebih rendah dari  $S$ . Sehingga nilai tampungan bias dirumuskan sebagai berikut:

$$S = S - Perc \quad (7)$$

7. Sebagian  $P_n - P_s$  dari  $P_n$  dan sebagian perkolasi dari *production store* bergabung dan mencapai *routing store*.

$$Pr = Perc + (P_n - P_s) \quad (8)$$



Gambar 2. Diagram model *rainfall-runoff* GR4J (Perrin, 2003)

8. Jumlah air yang mencapai routing store dibagi menjadi aliran cepat dan aliran lambat. Aliran cepat di routing dengan unit hidrograf UH1 dan aliran lambat dengan UH2. 90% dari Pr dirouting oleh unit hidrograf UH1 dan sisanya di routing dengan UH2. UH1 didefinisikan berdasarkan waktu,  $t$  sebagai berikut:

$$\text{untuk } t \leq 0, SH1(t) = 0 \quad (9)$$

$$0 < t < X_4, SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4}\right)^{\frac{5}{2}} \quad (10)$$

$$\text{untuk } t \geq X_4, SH1(t) = 1 \quad (11)$$

Seperti SH1, SH2 dicari sebagai berikut:

$$t \leq 0, SH2(t) = 0 \quad (12)$$

$$0 < t < X_4, SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X_4}\right)^{\frac{5}{2}} \quad (13)$$

$$0 < t < 2X_4 \text{ maka :}$$

$$SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X_4}\right)^{\frac{5}{2}} \quad (14)$$

$$t \geq X_4, SH2(t) = 1 \quad (15)$$

UH1 dan UH2 dirumuskan sebagai berikut

$$UH1 = SH1_j - SH1_{j-1} \quad (16)$$

$$UH1 = SH1_j - SH1_{j-1} \quad (17)$$

9. Perubahan groundwater,  $F$  dirumuskan sebagai berikut:

$$F = X_2 \left(\frac{R}{X_2}\right)^{7/2} \quad (18)$$

10. Dimana  $R$  adalah ketinggian dari routing store, dengan catatan  $R$  tidak pernah melebihi  $X_3$ , ketinggian routing store berubah seiring bertambahnya  $Q_9$  dari UH1 dan  $F$ , sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R = \max(0; R + Q_9 + F) \quad (19)$$

Debit  $Q_r$  dari tampungan dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_r = R \left\{ 1 - \left[ 1 + \left(\frac{R}{X_3}\right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\} \quad (20)$$

11. Dimana  $Q_r$  selalu lebih rendah dari  $R$ . Ketinggian tampungan kemudian dapat dihitung dengan persamaan

$$R = R - Q_r \quad (21)$$

12. Air yang berasal dari routing (penelusuran) disebut  $Q_d$  dan dihitung dengan persamaan:

$$Q_d = \max(0; Q_1 + F) \quad (22)$$

13. Debit total,  $Q$  bisa dihitung dengan persamaan :

$$Q = Q_r + Q_d \quad (23)$$

14. Mengevaluasi penyimpanan perhitungan dengan menggunakan metode *Nash-Sutcliffe Coefficient* ( $R^2$ ) dengan persamaan :

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - Q_{Mi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - Q_m)^2} \quad (24)$$

Dengan :

$R^2$  = Koefisien Nash-Sutcliffe

$Q_{Si}$  = Nilai Simulasi Model

$Q_{Mi}$  = Nilai observasi

$Q_m$  = Rata-rata nilai observasi

$N$  = Jumlah data

NSE memiliki *range* antara  $- \infty$  sampai dengan 1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999),  $R^2$  memiliki beberapa kriteria seperti

yang diperlihatkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kriteria Nilai ( $R^2$ )

Nilai $R^2$	Interpretasi
$R^2 > 0,75$	Baik
$0,36 < R^2 < 0,75$	Memenuhi
$R^2 < 0,36$	Tidak memenuhi

Sumber : Motovilov, *et al*(1999)

Selain kriteria performa model yang telah disebutkan sebelumnya yang dapat digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan model adalah koefisien korelasi yang ditulis sebagai  $R$ , dengan bentuk persamaan :

$$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (25)$$

Dimana

$$x = X - X_m \quad (26)$$

$X$  = Debit observasi

$X_m$  = Rata-rata nilai Debit observasi

$$y = Y - Y_m \quad (26)$$

$Y$  = Debit kalkulasi

$Y_m$  = Rata-rata nilai Debit kalkulasi

$R$  memiliki range antara 0 sampai dengan 1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sugiyono (2003:216), NSE memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2 Kriteria Nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

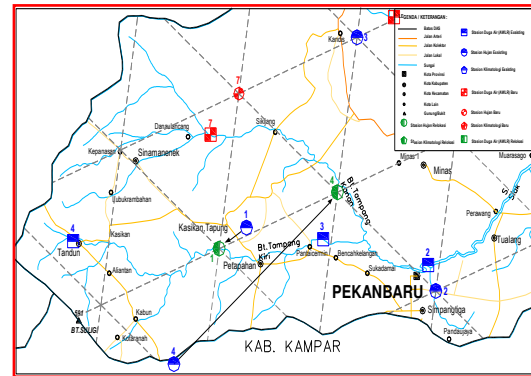
Nilai (R)	Interpretasi
0 sampai dengan 0,19	Sangat Rendah
0,20 sampai dengan 0,39	Rendah
0,40 sampai dengan 0,59	Sedang
0,60 sampai dengan 0,79	Kuat
0,80 sampai dengan 1	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono (2003:216)

## METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian adalah Sungai Siak Sub DAS Siak Hulu Stasiun Pantai

Cermin Kecamatan Tapung Kabupaten Kampar Provinsi Riau. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 seperti di bawah ini.

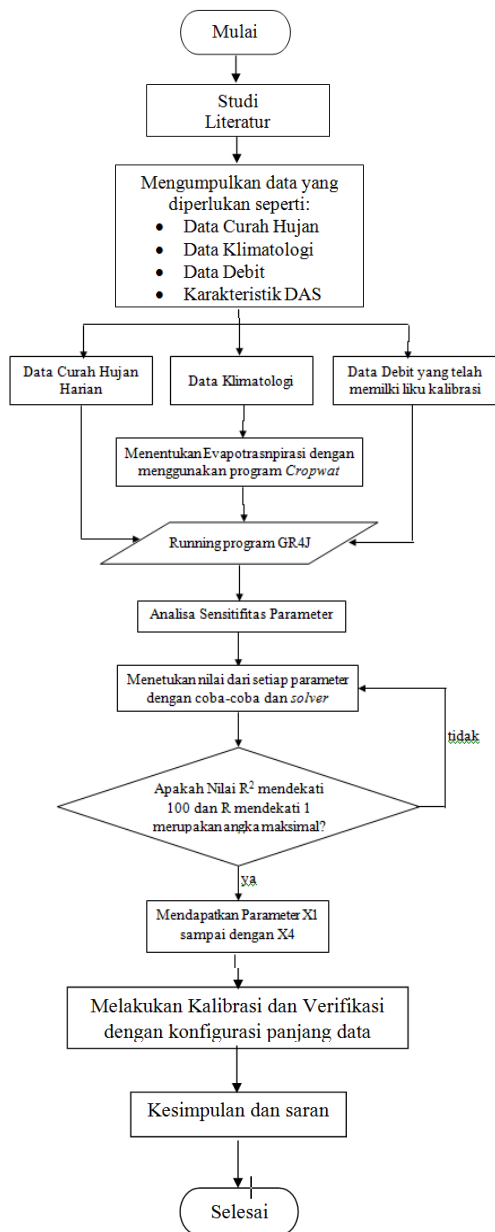


Gambar 3. Lokasi Stasiun Pantai Cermin

Analisis yang dimaksud adalah menganalisis perilaku dari tiap parameter dan memperhatikan perilaku kalibrasi dan verifikasi dari elaborasi panjang data. Evapotranspirasi menggunakan program Crowat, kemudian dimasukkan dalam program *GR4J* yang dibuat oleh Perrin tahun 2003. Input data yang diperlukan adalah curah hujan harian, evapotranspirasi, dan *rainfall* yang diperoleh dari data debit sungai yang sudah memiliki persamaan liku kalibrasi (*rating curve*). Melakukan input parameter  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , dan  $X_4$  dengan cara coba-coba (*solver*) hingga nilai *Nash-Sutcliffe* mendekati angka 100 atau mencapai nilai maksimal yang mungkin didapat dari *running* program tersebut.

Penelitian ini menganalisa sensitifitas pada setiap parameter dan menganalisa kalibrasi dan verifikasi (konfigurasi panjang tahun). Menguji kekuatan model dengan persamaan *Nash Sutcliffe* ( $R^2$ ) dan koefisien korelasi ( $R$ ). Tahap-tahap yang akan dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 4





Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Model GR4J pada penelitian ini mencakup data curah hujan, debit, klimatologi (harian) tahun 2002 sampai tahun 2007. Untuk mendapatkan hasil yang paling optimum, tiap nilai parameter harus dievaluasi dengan memilih parameter yang menghasilkan nilai yang paling optimum, apabila didapat parameter baru dari hasil iterasi

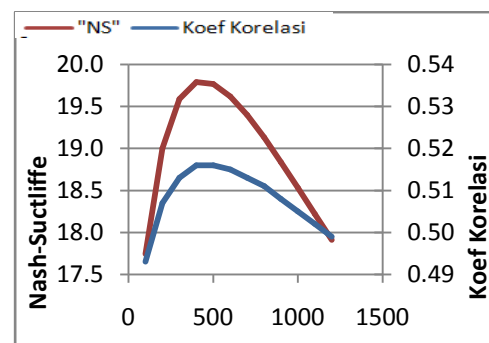
yang menghasilkan nilai yang lebih baik, maka parameter terdahulu diganti dengan yang baru. Sehingga apabila tidak ada nilai parameter yang lebih baik lagimaka nilainya tidak akan berubah. Hasil dari solver untuk parameter X1 sampai parameter X4 dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien Parameter

Parameter	Nilai	Uji Ketelitian (%)	
		R <sup>2</sup>	R
X1	453,60 mm	25,268	0,502
X2	2,89 mm		
X3	20 mm		
X4	26,35 hari		

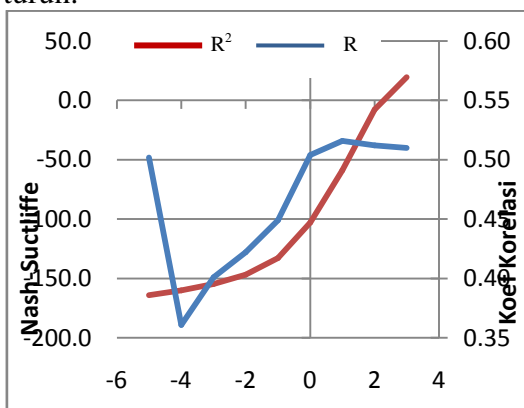
Sumber : hasil penelitian, 2014

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa nilai parameter X1 berada pada *range* 100 s/d 1200, parameter X1 menunjukkan angka 453,60 mm. Nilai parameter X2 berada pada *range* -5 s/d 3mm, parameter X2 menunjukkan angka 2,89 mm. Nilai parameter X3 berada pada *range* 20 s/d 300, parameter X3 menunjukkan angka 20 mm. Nilai parameter X4 berada pada *range* 1,1 s/d 2,9 hari, parameter X4 menunjukkan angka tidak dalam *range* yaitu 26,35 hari. Perilaku dari setiap parameter X1 dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 3.



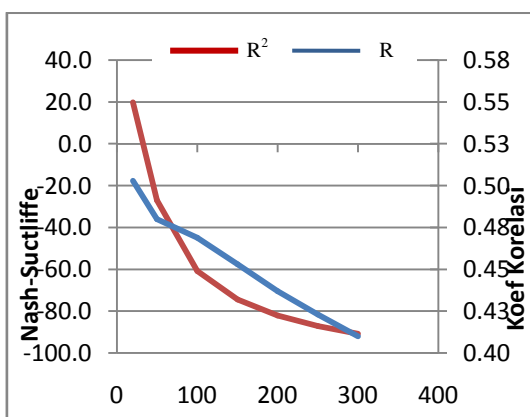
Gambar 5. Grafik perilaku parameter X1 Grafik pada Gambar 5 memperlihatkan kapasitas tampungan

disurface yang cukup rendah, Kapasitas ini tergantung dari jenis tanah dan kelembapan tanah, Hal ini dipengaruhi oleh besarnya curah hujan dan evapotranspirasi. Angka kapasitas tampungan yang rendah menunjukkan bahwa jenis tanah pada Das siak hulu memiliki porositas yang cukup kecil serta memiliki tampungan dipermukaan yang cukup besar ketika hujan mulai turun.



Gambar 6. Grafik perilaku parameter X2

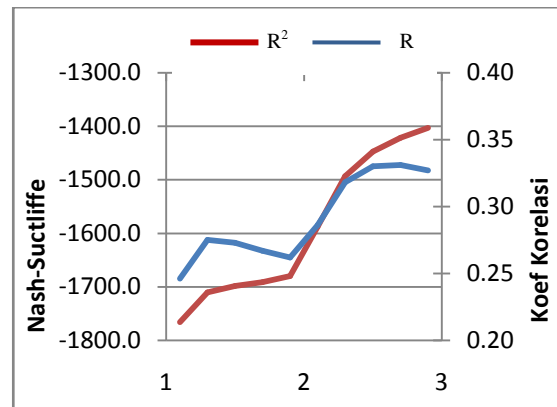
Grafik pada Gambar 6 memperlihatkan menunjukkan bahwa air yang terdapat pada lapisan tanah, akan keluar dari aquifer dan masuk ke tampungan (storage). Sehingga air yang keluar ini, member kontribusi besarnya debit pada DAS siak hulu.



Gambar 7. Grafik perilaku parameter X3

Grafik pada Gambar 7 memperlihatkan DAS siak hulu yang memiliki *routing storage* yang kecil,

karena pori-pori tanah yang cukup padat. Kapasitas maksimum routing storage ini ditentukan oleh 90% dari total runoff yang terjadi pada aliran lambat, sehingga besarnya tampungan dari runoff yang masuk kedalam tanah ditentukan oleh jenis tanah



Gambar 8. Grafik perilaku parameter X4

Grafik pada Gambar 8 memperlihatkan nilai Nash Sutcliffe yang selalu bernilai negative pada batasan 1.1 sampai 2.9 terlihat nilai nash sutcliffe menunjukkan nilai positif pada nilai X4 yang diluar batasan, oleh sebab itu pada penelitian ini parameter X4 Waktu saat debit puncak unit hidrograf *UHI* (hari) tidak dilakukan, bercermin pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dhemi Harlan (2009) membatasi X4 tidak kurang dari 0,5.

Pada penelitian ini juga membahas kalibrasi dan verifikasi data dengan memanfaatkan panjang data, Skema dari banyak data dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 4.

Tabel 4. Panjang Data Skema

Skema	Panjang Tahun	
	Kalibrasi	Verifikasi
1.a	2002	2003
1.b	2002	2003-2004
1.c	2002	2003-2005
1.d	2002	2003-2006
1.e	2002	2003-2007
2.a	2002-2003	2004

Skema	Panjang Tahun	
	Kalibrasi	Verifikasi
2.b	2002-2003	2004-2005
2.c	2002-2003	2004-2006
2.d	2002-2003	2004-2007
3.a	2002-2004	2005
3.b	2002-2004	2005-2006
3.c	2002-2004	2005-2007
4.a	2002-2005	2006
4.b	2002-2005	2006-2007
5	2002-2006	2007

Sumber : hasil penelitian, 2014

Hasil kalibrasi dari setiap skema dengan panjang data yang dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 2 dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5. Hasil Kalibrasi

Skema	$R^2$ (%)	R
1	13,15	0,372
2	27,848	0,589
3	35,619	0,654
4	35,045	0,637
5	35,007	0,613

Sumber : hasil penelitian, 2014

Hasil Verifikasi dari setiap skema dapat dilihat dalam tabel pada Tabel 3 dapat dilihat pada tabel 6

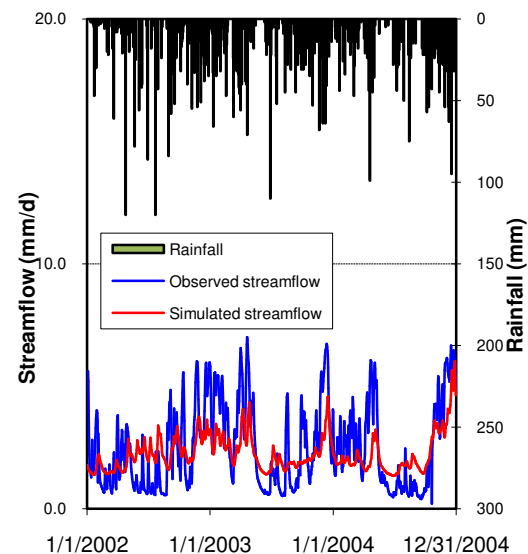
Tabel 6. Hasil Verifikasi

Skema	$R^2$ (%)	R
1.a	31,83	0,719
1.b	40,98	0,730
1.c	31,36	0,70
1.d	38,36	0,649
1.e	25,267	0,503
2.a	48,942	0,758
2.b	42,37	0,688
2.c	40,03	0,644
2.d	21,82	0,480
3.a	31,60	0,573
3.b	32,6	0,584
3.c	8,93	0,386
4.a	34,839	0,621
4.b	-0,619	0,342
5	-36,202	0,01

Sumber : hasil penelitian, 2014

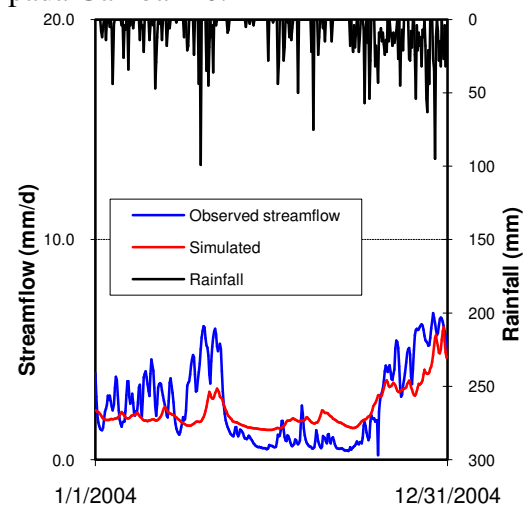
Tabel 2 memperlihatkan bahwa nilai  $R^2$  tertinggi pada tahap kalibrasi terletak pada skema 3, sementara itu

nilai R tertinggi juga terletak pada skema 3. Selain itu, Pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa nilai  $R^2$  tertinggi terletak pada skema 2.a, sementara R tertinggi juga terletak pada skema 2.a. Hasil kalibrasi dari model GR4J yang memiliki nilai  $R^2$  dan R tertinggi ini dapat dilihat pada grafik hidrogaf pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hidrogaf kalibrasi skema 3

Hasil verifikasi dari model GR4J yang memiliki nilai  $R^2$  dan R tertinggi ini dapat dilihat pada grafik hidrogaf pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hidrogaf verifikasi skema 2.a.



## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan pada pemodelan GR4J dengan kalibrasi dan verifikasi dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada tahap analisa dengan metode *trial and error* dengan bantuan *solver*, performa terbaik dapat dilihat dari nilai *Nash-suctliffe* tertinggi terletak pada parameter X1 sebesar 453,60 mm, parameter X2 sebesar 2,89 mm, parameter X3 sebesar 20 mm, dan parameter X4 sebesar 26,35 hari.
2. Pada tahap kalibrasi nilai tertinggi berdasarkan  $R^2$  dan  $R$  yang ditampilkan dari pemodelan GR4J terletak pada 3 tahun kalibrasi dengan nilai  $R^2$  sebesar 35,619 % dan  $R$  sebesar 0,654. Nilai yang didapatkan dikategori kan “memenuhi” dan “kuat” sehingga model GR4J dapat dikatakan efektif.
3. Pada tahap verifikasi nilai tertinggi berdasarkan *Nash-suctliffe* dan koefisien korelasi yang ditampilkan dari pemodelan GR4J terletak pada 1 tahun verifikasi dengan kalibrasi 2 tahun.  $R^2$  sebesar 48,942 % dan  $R$  sebesar 0,758. Nilai yang didapatkan dapat dikategori kan “memenuhi” “kuat” sehingga model GR4J dapat dikatakan efektif.
4. Analisa parameter X1, parameter X2 dan parameter X3 memenuhi batasan yang diperoleh dari penelitian terdahulu, namun parameter X4 tidak memenuhi batasan yang ada. Namun merujuk pada penelitian Dhemi Harlan dengan judul penelitian “Penentuan Debit Harian Menggunakan Pemodelan *Rainfall Runoff* GR4J untuk Analisa Unit Hidrogrf pada DAS Citarum Hulu”

yang menyatakan bahwa nilai X4 harus melebihi 0,5.

5. Parameter yang paling sensitif adalah parameter X2. Dapat terlihat dari perubahan yang signifikan dari nilai  $R^2$  dan  $R$ .
6. keberhasilan yang diperoleh tahap kalibrasi tidak menjamin keberhasilan pada tahap verifikasi.

Berdasarkan hasil dan pembahasan dalam penelitian ini maka dapat diperoleh saran untuk rekan-rekan peneliti sebagai berikut

1. sebaiknya lebih berhati – hati dalam proses kalibrasi terutama pada saat penentuan durasi warm up. Hal ini didasarkan pada adanya perbedaan durasi warm up yang memberikan nilai *Nash-Suctliffe* dan Koefisien korelasi optimal untuk masing – masing skema.
2. diperlukan penelitian yang berkelanjutan dalam hal regionalisasi parameter model sehingga diperoleh range parameter model yang sesuai untuk karakteristik kondisi hidrologi di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fauzi, Manyuk. 2013. *Variasi Kapasitas Tampung Kelembaban Tanah Untuk Peningkatan Performa Model GR3J-ANN*. Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas Riau.
- Harlan, Dhemi. 2009. *Penentuan Debit Harian Menggunakan Pemodelan *Rainfall Runoff* GR4J untuk Analisa Unit Hidrograf pada DAS Citarum Hulu*. Jurnal Teknik Sipil ITB.
- Ilhamsyah, Yopi. 2012. *Analisis Dampak ENSO Terhadap Debit Alirnn DAS Cisangkuy Jaw Barat Menggunakan Model *Rainfall**

*Runoff*. Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

**Kheira, Medane.** 2012. *Hydrologie et Modelisation Plue-Debit Cas Bassin Versant De L'oued Boumessaoud*. Faculte Sciences De La Nature Et De La Vie Et Des Sciences De La Terre Et De L'univers.

**Michel, M. Claude.** 2005. *Quantification des incertitudes des debit calculus par un modele pluie-debit empirique*.

**Sugiyono,** 2003:216, *Kriteria Koefisien korelasi*, [online], (<http://irwan.ndaru.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/16914/BAB+III+metodologi+Penelitian.doc>), diakses tanggal 9 januari 2015.

**Wibowo, Ryan Ardhi.** 2013. *Analisa Hujan Aliran Menggunakn Model Ihacres (Studi Kasus Das Indragiri)*. Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas Riau.

